



DEUTSCHES  
PATENTAMT

②① Aktenzeichen: P 41 05 060.6  
②② Anmeldetag: 19. 2. 91  
④③ Offenlegungstag: 20. 8. 92

DE 41 05 060 A 1

⑦① Anmelder:

Medizinisches Laserzentrum Lübeck GmbH, 2400  
Lübeck, DE

⑦④ Vertreter:

Wilcken, H., Dr.; Wilcken, T., Dipl.-Ing.; Vollmann,  
H., Dipl.-Ing., Pat.-Anwälte, 2400 Lübeck

⑦② Erfinder:

Scheu, Manfred, 6761 Bisterschied, DE; Engelhardt,  
Ralf, 3162 Uetze, DE; Wetzel, Wolfgang, Dr., 2300  
Kiel, DE

⑤④ Verfahren und Vorrichtung zur Überwachung der Materialbearbeitung mittels gepulstem Laserlicht

- ⑤⑦ Das Verfahren dient zur Überwachung der Materialbearbeitung mittels gepulstem Laserlicht. Das Laserlicht wird über einen Lichtleiter an das zu bearbeitende Material herangeführt. Vom Ende des Lichtleiters wird Meßlicht reflektiert, das einer Auswerteinheit zugeführt wird, welche die Intensität des reflektierten Meßlichtes in zeitlicher Relation zum Laserpuls erfaßt und zur Bestimmung einer charakteristischen Materialeigenschaft auswertet. Auf das Material wird nach einem Laserpuls oder auch ständig durch den Lichtleiter hindurch Meßlicht gerichtet. Eine charakteristische Materialeigenschaft wird anhand des reflektierten Meßlichtes ausgewertet, und zwar unmittelbar nach dem Laserpuls.

DE 41 05 060 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Überwachung der Materialbearbeitung mittels gepulstem Laserlicht, bei dem das Laserlicht über einen Lichtleiter an das Material herangeführt und reflektiertes Licht einer Auswerteinheit zugeführt wird, welche die Intensität des reflektierten Lichtes in zeitlicher Relation zum Laserpuls erfaßt und zur Bestimmung einer charakteristischen Materialeigenschaft auswertet. Weiterhin betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur Ausführung dieses Verfahrens gemäß den im Oberbegriff des Anspruchs 17 angegebenen Merkmalen.

Aus der EP-A-01 95 375 ist ein Verfahren bekannt, bei dem während der Bearbeitung von Gewebe mittels eines Bearbeitungslasers der Bearbeitungsbereich von einem Pilotlaser geringer Leistung bestrahlt wird, wobei das vom bearbeiteten Gewebe reflektierte Licht bei mehreren Wellenlängen ausgewertet wird, um festzustellen, ob das vom Bearbeitungslaser abzutragende Material Gewebe oder anderes Material ist. Das Verfahren dient dazu, Materialunterschiede zu erkennen, um einen Abtrag in nicht erwünschten Gebieten zu vermeiden. Das Verfahren nutzt die von unterschiedlichen Materialien ausgehenden unterschiedlichen Reflexionseigenschaften aus. Es ist jedoch für zahlreiche Anwendungsfälle nicht geeignet.

In der DE-PS 37 33 489 ist ein Verfahren beschrieben, bei dem ein gepulster Laser als Bearbeitungslaser eingesetzt wird. Das gepulste Laserlicht wird über einen Lichtleiter dem Bearbeitungsmaterial zugeführt. Über diesen Lichtleiter wird vom bearbeiteten Material reflektiertes Laserlicht aufgenommen und einer Auswerteinheit zugeführt, welche die zeitliche Intensitätsverteilung des Lichtes bezogen auf den zeitlichen Verlauf des Laserpulses auswertet. Auch durch dieses Verfahren werden bestimmte charakteristische Materialeigenschaften detektiert, wie sie beispielsweise bei der Zerstörung von Harn- oder Gallensteinen erforderlich sind, um zu erkennen, ob der Bearbeitungslaser auf Gewebe oder Stein stößt.

Beim letztgenannten Verfahren können ebenfalls nur bestimmte Materialien voneinander unterschieden werden und bei bestimmten Anwendungen hat sich dieses Verfahren als nicht brauchbar erwiesen. Das Verfahren ist insbesondere dann geeignet, wenn fluoreszierende Materialien unterschieden werden sollen. Das Verfahren ist eben im wesentlichen für die Steinzetrümmerung entwickelt und ausgebildet worden, da Harn- oder Gallensteine bei der Bearbeitung mit Laserlicht stark fluoreszieren.

Ausgehend vom letztgenannten Stand der Technik liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein gattungsgemäßes Verfahren so auszubilden, daß die Bearbeitungsüberwachung unabhängig von der Leistung des Bearbeitungslasers ermöglicht wird. Insbesondere soll das Verfahren zur Detektion des Kammerwassers bei der ab externo Sklerostomie mittels gepulstem Laserlicht dienen. Des weiteren soll eine derartige Vorrichtung, insbesondere zur Ausführung des Verfahrens, geschaffen werden.

Der verfahrensmäßige Aufgabenteil wird bei einem gattungsgemäßen Verfahren durch die im kennzeichnenden Teil des Anspruchs 1 aufgeführten Merkmale gelöst. Die in Anspruch 17 aufgeführten Merkmale gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind durch die in den Unteransprüchen 2 bis 16 sowie 18

aufgeführten Merkmale gekennzeichnet.

Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht die Überwachung der Materialbearbeitung mittels gepulstem Laserlicht bei voller Laserleistung. Das Verfahren eignet sich insbesondere zur Überwachung von Bearbeitungen im Grenzbereich zwischen Gewebe und Flüssigkeit, Flüssigkeiten und Metallen unterschiedlicher Dichte, Pasten, Gels und dergleichen. Das Verfahren beruht auf der Erkenntnis, daß sich das unmittelbar vor dem Lichtleiterende befindliche Material, das während des Laserpulses verdampft wird, eine Gas- oder Plasmablase vor dem Lichtleiterende bildet. Diese Blase zerfällt nach einer gewissen Zeit und wird durch neue Flüssigkeit oder neues Material ersetzt. Die Zeit, in der eine solche Blase zerfällt und wieder durch Material ersetzt ist, stellt ein charakteristisches Materialmerkmal dar. Die dabei auftretenden Reflexionsänderungen sind deutlich zu unterscheiden, daher gut detektierbar bzw. auswertbar.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren bzw. der entsprechenden Vorrichtung läßt sich insbesondere die ab externo Sklerostomie sehr exakt kontrollieren und somit eine Schädigung von Iris, Linsenkapself oder Linse sicher vermeiden. Der Bearbeitungslaser kann hierdurch so gesteuert werden, daß bei Eintritt des Faserendes in die Augenkammer ein Signal ausgelöst wird, das den weiteren Bearbeitungsvorgang selbsttätig oder auch durch manuellen Eingriff beendet.

Als vom Laser unabhängige Lichtquelle wird vorzugsweise eine kontinuierliche Meßlichtquelle, bevorzugt ein weiterer Laser eingesetzt. Die Meßlichtquelle kann auch durch die Blitzlampe des Bearbeitungslasers gebildet sein, deren Leuchtdauer regelmäßig deutlich länger als die des Laserpulses ist, so daß das davon ausgehende Licht zur Reflexion am Lichtleiterende und zur späteren Auswertung eingesetzt wird. Hierdurch kann der konstruktive Aufwand der Vorrichtung vermindert werden.

Erfindungsgemäß kann das zur Auswertung erforderliche reflektierte Meßlicht nicht nur direkt über den Strahlengang des Lichtleiters zur Auswerteinheit geführt und dort gemessen werden, sondern statt dessen auch am Umfang des Lichtleiters gemessen werden.

Die Erfindung ist nachfolgend anhand von in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein Blockschaltbild der erfindungsgemäßen Vorrichtung,

Fig. 2 ein Diagramm über den zeitlichen Verlauf des reflektierten Lichtes,

Fig. 3 ein Diagramm über den zeitlichen Verlauf des reflektierten Lichtes bei einer ab externo Lasersklerostomie mit einem Ho-YAG-Laser.

Das Blockschaltbild nach Fig. 1 zeigt einen Bearbeitungslaser 1. Es handelt sich hierbei um einen gepulsten Laser. Dessen Bearbeitungslaserlicht wird in einen Lichtleiter 2 in Form einer Glasfaser eingekoppelt. Bei der dargestellten Ausführung arbeitet der Bearbeitungslaser 1 im Infrarotbereich, so daß schon zur optischen Kontrolle des Arbeitsergebnisses eine sichtbare Licht abgebende Beleuchtungsquelle 3 erforderlich ist. Hierzu ist ein Pilotlaser 3 vorgesehen, dessen Licht über einen teilreflektierenden Spiegel 4 in den Lichtleiter 2 eingekoppelt ist.

Das vom Pilotlaser, der in diesem Fall auch als Meßlichtquelle eingesetzt wird, abgegebene und am Ende des Lichtleiters 2 reflektierte Licht läuft in diesen zurück und wird über den teilreflektierenden Spiegel 4 sowie

einen Polarisationsstrahlteiler 5 einer Auswerteinheit 6 zugeführt, die den Bearbeitungslaser 1 steuert oder zumindest zur Abgabe eines Signals zur Steuerung dieses Lasers vorgesehen ist.

Die Auswerteinheit 6 arbeitet elektronisch und wird durch das Ausgangssignal einer Fotodiode 7 angesteuert, auf die das reflektierte Meßlicht des Pilotlasers 3 auftrifft. Das über die Fotodiode gemessene elektrische Signal verkörpert die Intensität des auf die Fotodiode 7 auftreffenden Lichtes.

Derartige Signale sind durch die in den Diagrammen nach den Fig. 2 und 3 dargestellten unteren Kurven dargestellt. Die oberen Kurven sind nur zeitlich von quantitativer Aussagekraft, sie stellen den Bearbeitungslaserpuls zeitlich dar.

In Fig. 2 sind im unteren Teil des Diagrammes zwei charakteristische Ausgangssignale des Detektors 7 dargestellt. Die horizontale Achse des Diagrammes stellt die Zeit dar, während die vertikale Achse die Intensität des reflektierten Lichtes angibt. Die mit 8 gekennzeichnete Kurve dient nur zur zeitlichen Orientierung und verdeutlicht den Bearbeitungslaserpuls. Die mit 9 gekennzeichnete Kurve ist charakteristisch für das Ausgangssignal des Detektors bei Kontakt des Lichtleiters 2 mit Gewebematerial, beispielsweise der Sklera. Diese Kurve zeigt zunächst einen konstanten flachen Verlauf, der die Reflexion des vom Pilotlaser ausgehenden Lichtes am Lichtleiterende darstellt. Während und nach dem Bearbeitungslaserpuls steigt das reflektierte Licht sehr steil an, um dann kontinuierlich und flach wieder abzufallen. Dies ist ein Signalverlauf der typisch für eine Bearbeitung im Gewebe ist, da die sich vor dem Lichtleiterende bildende Gasblase nur verhältnismäßig langsam durch Flüssigkeit (Gewebeflüssigkeit) ersetzt werden kann, die durch das Gewebe hindurchdringen muß.

Ist das Gewebe der Sklera durchbohrt, so liegt das freie Ende der Lichtleitfaser im Augenkammerwasser. Es ergibt sich dann die in Fig. 2 mit 10 gekennzeichnete punktierte dargestellte Kurve. Auch hier wird durch den Bearbeitungslaserpuls schlagartig Flüssigkeit unter Bildung einer Gasblase verdampft, so daß die Reflexion des Meßlichtes nach Auslösung des Laserpulses steil ansteigt. Aufgrund des direkt am Bearbeitungsort zur Verfügung stehenden Wassers zerfällt diese Blase jedoch schnell wieder, das umgebende Wasser gelangt binnen kurzer Zeit (nach ca. 10 Millisekunden) wieder zur Stirnseite des Lichtleiters, so daß der Ausgangszustand (wie vor dem Laserpuls) erreicht wird. Die Auswerteinheit 6 erkennt die charakteristischen Kurvenunterschiede und gibt ein entsprechendes Signal ab. Beispielsweise kann in diesem Fall bei der Sklerostomie der Bearbeitungslaser abgestellt werden, weil der in der Sklera zu schaffende Kanal hergestellt ist.

In Fig. 3 ist der zeitliche Verlauf aller während einer ab externo Lasersklerostomie mit einem Ho-YAG-Laser (200 Mikrosekunden) auf die Detektoreinheit 7 fallenden Signale dargestellt. Vor Applikation des Bearbeitungslaserpulses streuen die Ausgangssignale bei Kontakt von Sklera und Lichtleitfaser stark und sind nicht deutlich von dem Fall zu unterscheiden, bei dem sich die Lichtleitfaser in Kontakt mit Kammerwasser befindet. Nach Applikation des Laserpulses (vorzugsweise nach 20 bis 200 Millisekunden) ist eine eindeutige Materialunterscheidung möglich. Den in Fig. 2 dargestellten Kurven entsprechen hier die Kurven 8a, 9a und 10a.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Überwachung der Materialbearbeitung mittels gepulstem Laserlicht, bei dem das Laserlicht über einen Lichtleiter an das Material herangeführt wird und reflektiertes Licht einer Auswerteinheit zugeführt wird, welche die Intensität des reflektierten Lichtes in zeitlicher Relation zum Bearbeitungslaserpuls erfaßt und zur Bestimmung einer charakteristischen Materialeigenschaft auswertet, **dadurch gekennzeichnet**, daß auf das Material nach einem Bearbeitungslaserpuls oder auch ständig Meßlicht durch den Lichtleiter hindurch gerichtet wird und daß eine charakteristische Materialeigenschaft durch Auswertung des Meßlichtes unmittelbar nach dem Bearbeitungslaserpuls erfolgt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Verlauf der durch den Bearbeitungslaser beim letzten Puls verursachten Änderung des Brechungsindex des das distale Ende des Lichtleiters umgebenden Mediums detektiert wird.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Erzeugung des Meßlichtes eine kontinuierliche Lichtquelle eingesetzt wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß als Meßlichtquelle ein Laser eingesetzt wird, vorzugsweise ein Helium-Neon-Laser oder eine Laserdiode.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß als Meßlichtquelle die Blitzlampe des Bearbeitungslasers verwendet wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß als Meßlichtquelle die Fluoreszenz des Bearbeitungslasers verwendet wird.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Meßlichtquelle polarisiertes Licht aussendet.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß das reflektierte Meßlicht in unterschiedlichen Wellenlängenbereichen erfaßt wird.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Teil des innerhalb des Lichtleiters zurücklaufenden Meßlichtes über einen polarisierenden Strahlteiler, einen teilreflektierenden Spiegel oder eine Glasplatte etwa unter Brewsterwinkel einer Lichtmeßeinheit zugeführt wird.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Bestimmung der Intensität des reflektierten Meßlichtes ohne zusätzliche Optik im Strahlengang an der Außenseite des Lichtleiters erfaßt wird.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Detektor zur Intensitätserfassung des reflektierten Meßlichtes in der Auswerteinheit für den Wellenlängenbereich besonders sensitiv ist, in dem das von der Meßlichtquelle ausgesendete Licht liegt, und daß das Laserlicht des Bearbeitungslasers einen im wesentlichen anderen Wellenlängenbereich aufweist.
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß zu einem

oder mehreren Zeitpunkten nach Beendigung des Bearbeitungslaserpulses die Intensität des im Lichtleiter zurücklaufenden Meßlichtes detektiert wird.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bei Detektion einer abweichenden Materialeigenschaft ein Signal zur Steuerung des Bearbeitungslasers ausgelöst wird. 5

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer ab externo Sklerostomie mittels eines gepulsten Bearbeitungslasers die Fistulierung und somit der Kontakt der Lichtleiterendfläche mit dem Kammerwasser detektiert wird. 10

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Ho-YAG- oder ein Er-YAG-Laser als Bearbeitungslaser eingesetzt wird. 15

16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als Bearbeitungslaser ein Laser mit einer Lichtemission im Bereich hoher Wasserabsorption eingesetzt wird, vorzugsweise mit einem Wellenlängenbereich, der Kleiner als 400 nm oder größer als 1,4  $\mu$ m ist. 20

17. Vorrichtung zur Überwachung der Materialbearbeitung mittels gepulstem Laserlicht, mit einem Bearbeitungslaser, dessen Laserlicht mittels eines Lichtleiters an das Material herangeführt ist, und mit einer Auswerteeinheit, der reflektiertes Licht zugeführt ist, wobei die Auswerteeinheit die Intensität des reflektierten Lichtes in zeitlicher Relation zum Bearbeitungslaserpuls erfaßt und zur Bestimmung einer charakteristischen Materialeigenschaft auswertet, dadurch gekennzeichnet, daß eine vom Bearbeitungslaser unabhängige Meßlichtquelle vorgesehen ist, mit der auf das Material nach einem Bearbeitungslaserpuls oder auch ständig durch den Lichtleiter hindurch Meßlicht richtbar ist, und daß eine charakteristische Materialeigenschaft durch Auswertung des reflektierten Meßlichtes erfolgt, und zwar unmittelbar nach dem Bearbeitungslaserpuls. 25 30 35 40

18. Vorrichtung nach Anspruch 17, gekennzeichnet durch Merkmale eines oder mehrerer der Ansprüche 2 bis 16. 45

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---

50

55

60

65

— Leerseite —

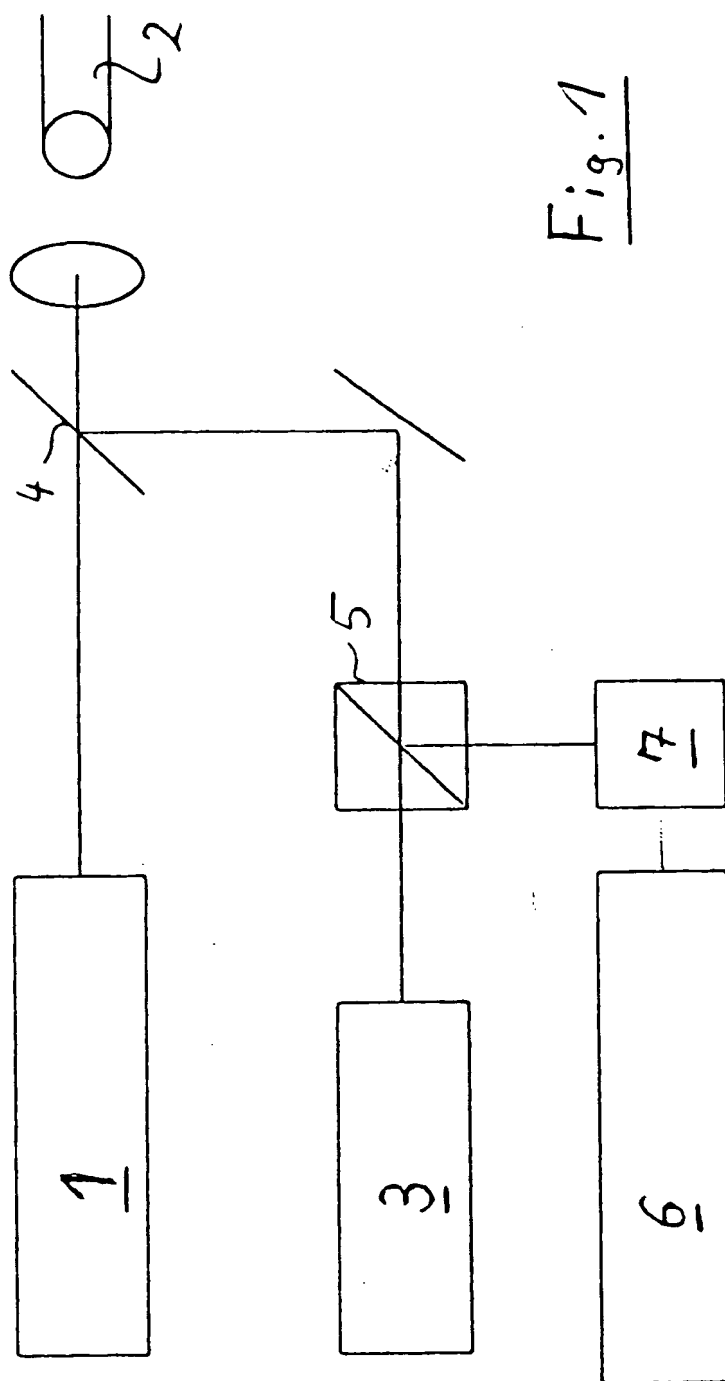


Fig. 1

Fig. 2

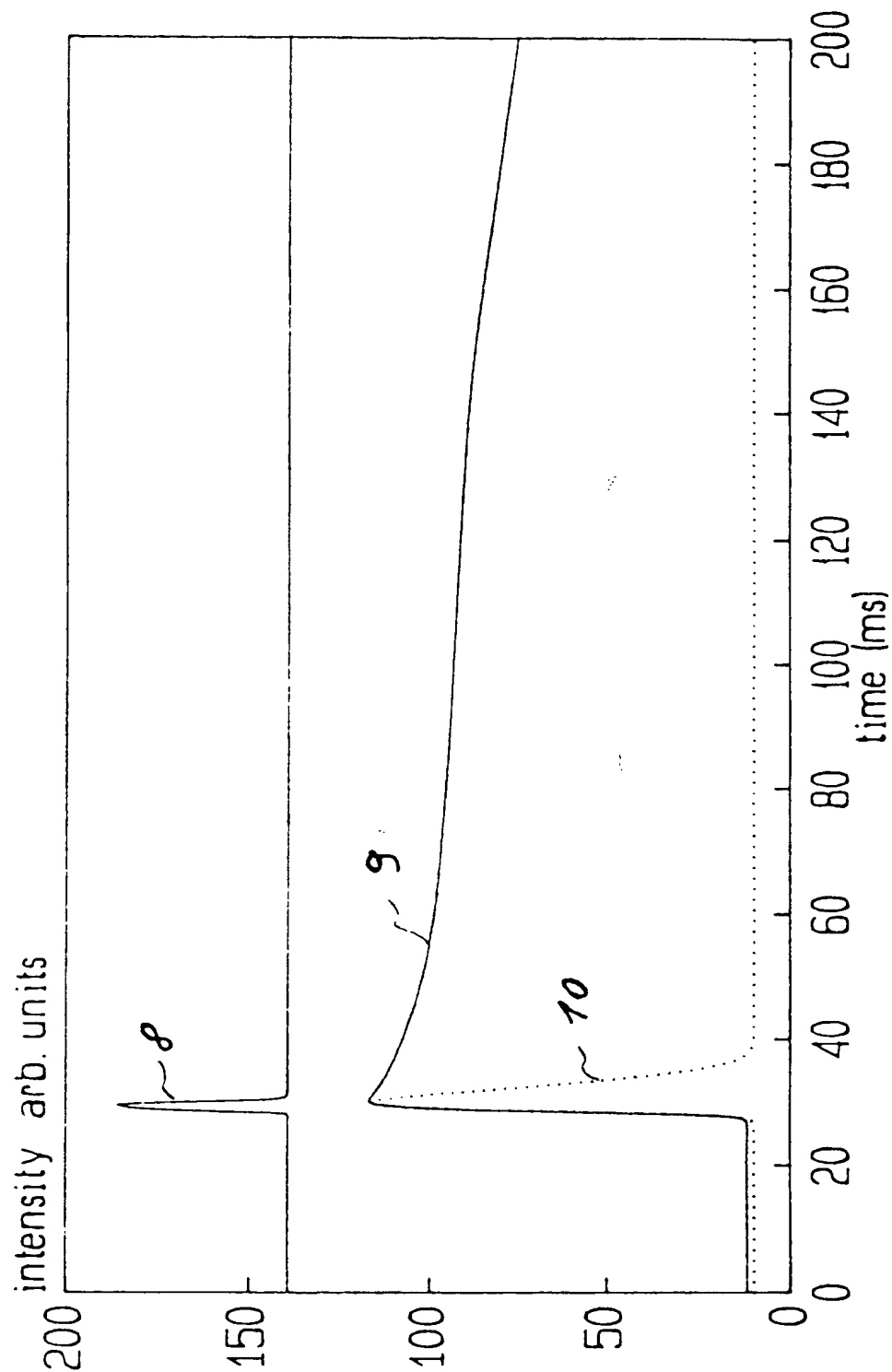


Fig. 3

